

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2005 年 8 月 11 日 (11.08.2005)

PCT

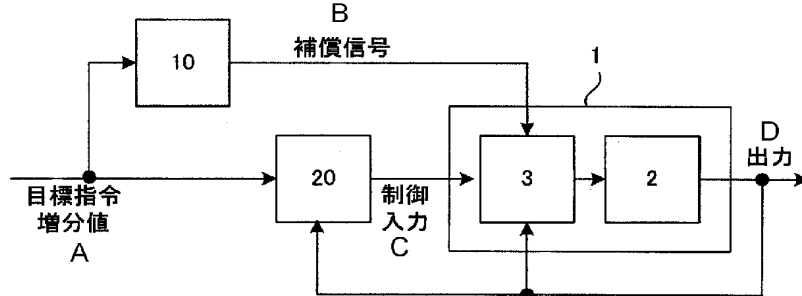
(10) 国際公開番号
WO 2005/073818 A1

- (51) 国際特許分類: G05B 11/32, 11/36 (72) 発明者; および
(21) 国際出願番号: PCT/JP2004/018891 (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 大田 清太郎 (OHTA, Seitaro) [JP/JP]; 〒8060004 福岡県北九州市八幡西区黒崎城石 2 番 1 号 株式会社安川電機内 Fukuoka (JP). 中村 裕司 (NAKAMURA, Hiroshi) [JP/JP]; 〒8060004 福岡県北九州市八幡西区黒崎城石 2 番 1 号 株式会社安川電機内 Fukuoka (JP). 今津 篤志 (IMADU, Atsushi) [JP/JP]; 〒8060004 福岡県北九州市八幡西区黒崎城石 2 番 1 号 株式会社安川電機内 Fukuoka (JP).
(22) 国際出願日: 2004 年 12 月 17 日 (17.12.2004)
(25) 国際出願の言語: 日本語
(26) 国際公開の言語: 日本語
(30) 優先権データ: 特願 2004-019652 2004 年 1 月 28 日 (28.01.2004) JP
(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社安川電機 (KABUSHIKI KAISHA YASKAWA DENKI) [JP/JP]; 〒8060004 福岡県北九州市八幡西区黒崎城石 2 番 1 号 Fukuoka (JP). (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU,

[続葉有]

(54) Title: SERVO CONTROL APPARATUS

(54) 発明の名称: サーボ制御装置



A.. TARGET COMMAND INCREMENT VALUE
B.. COMPENSATION SIGNAL
C.. CONTROL INPUT
D.. OUTPUT

(57) Abstract: A servo control apparatus that are not accompanied by any overshoots and any continuous vibration, exhibits an improved trackability and that tracks without any delay from an upper order command. A command signal is directly transmitted, as a target command increment value, to a controller (20). A compensation signal arithmetic unit (10) receives the target command increment value; subtracts the target command increment value from a signal having passed through an inverse transfer function unit having an inverse transfer function characteristic of any low-pass filter; multiplies a result of that subtraction by an adjustment gain to produce a compensation signal; and sends the compensation signal to an object (1) to be controlled. The controller (20) receives both the target command increment value and an output increment value of the controlled object (1), and sends a control input to the controlled object (1) such that the output of the controlled object (1) becomes coincident with the target command.

(57) 要約: オーバーシュートや持続振動を伴わずに追従精度を改善し、上位指令から遅れずに追従するサーボ制御装置を提供する。指令信号は直接目標指令増分値として制御器 (20) に送られる。また、補償信号演算器 (10) は目標指令増分値

[続葉有]



WO 2005/073818 A1



ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU,

添付公開書類:
— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

を入力し、任意のローパスフィルタの逆伝達関数特性をもつ逆伝達関数器に通した信号から目標指令増分値を減算し、調整ゲインを乗算して生成した補償信号を制御対象(1)に送る。制御器(20)は目標指令増分値と制御対象(1)の出力増分値とを入力して、目標指令と制御対象(1)の出力とを一致させるように制御入力を制御対象(1)に送る。

明 細 書

サーボ制御装置

技術分野

[0001] 本発明は、高い指令追従精度を必要とする工作機、半導体製造装置、実装機などを駆動するサーボ制御装置に関する。

背景技術

[0002] 制御対象に制御入力を与えて制御対象の出力を制御入力の目標値に一致させるサーボ制御装置として、従来から様々な構成が提案されている(例えば、特許文献1、2を参照)。

図10は特許文献1に開示されたサーボ制御装置の構成を示すブロック図である。そのモータ制御装置は予測制御器61と制御対象1から構成されており、制御対象1はモータ制御器3とモータ2からなっている。そして予測制御器61の出力とモータ2の出力がモータ制御器3に入力され、目標指令増分値とモータの出力が予測制御器61に入力される。モータ制御器3はモータ2を駆動し、制御入力に応じてモータ2の動作が制御される。

図11はそのサーボ制御装置に用いられている予測制御器61の構成を示すブロック図である。

予測制御器61は、メモリ62〜65と、演算器66、減算器67、積算器68を備えており、その前段に差分器69が接続されている。そして、現在時刻 $i \cdot T_s$ (以下、便宜上、時刻 i と称す。 T_s : サンプル周期)において、 K ($K \geq 0$) サンプル過去の制御対象の出力 $y(i-K)$ を入力した差分器69の出力と、 M サンプル未来の目標指令増分値 $\Delta r(i+M)$ とを予測制御器61が入力すると、制御対象の出力を目標指令に一致させるよう働いて制御入力 $u(i)$ を出力する。

[0003] メモリ62はサンプリングした複数の目標指令増分値を記憶しており、メモリ63は制御用の定数 E 、 $v_{-K+1}, \dots, v_M, p_0, \dots, p_{Na-1}, g_1, \dots, g_{Nb+K-1}$ を記憶している。またメモリ64はサンプリングした複数の出力増分値を記憶しており、メモリ65はサンプリングした複数の制御入力を記憶している。

減算器67がKサンプリング過去の目標指令増分値 $\Delta r(i-K)$ から差分器69の出力である出力増分値 $\Delta y(i-K)$ を差し引くと、積算器68がその出力を積算して偏差 $e(i-K)$ を求める。

演算器66は、制御対象の制御入力から出力までの伝達関数モデルを用いて求めた未来偏差予測値と、偏差と、制御入力に関する評価関数が最小となるように、式(1)によって制御入力 $u(i)$ を求めている。

[0004] [数1]

$$u(i) = \sum_{m=-K+1}^M v_m \Delta r(i+m) - \sum_{n=0}^{M-1} p_n \Delta y(i-K-n) + Ee(i-K) - \sum_{n=1}^{Nb+K+1} g_n u(i-n) \quad (1)$$

[0005] 本構成によれば、未来の偏差予測値が最小となるように制御入力決定されるため、追従精度のよいサーボ制御装置が実現される。

また、特許文献3には、フィードフォワード信号作成指令フィルタを含むサーボ制御装置が提案されており、フィードフォワード制御が施されても、予測精度が劣化せず追従精度を高くできることが示されている。

[0006] さらに、本出願人は速度や加速度が変化する時の追従精度をさらに向上する補償信号演算器を含むサーボ制御装置を提案している。

図12は本出願人がすでに提案したサーボ制御装置に用いられている補償信号演算器の構成を示すブロック図である。

補償信号演算器100は、フィルタ101と乗算器102、減算器103、位相調整器104、105を備えており、指令増分値を入力すると加減速時の目標指令と制御対象の出力の偏差が小さくなるよう働いて補償信号と目標指令増分値を出力する。このとき補償信号演算器100が指令増分値を入力すると位相調整器105が位相調整し、フィルタ101がフィルタリングして目標指令増分値を出力する。また同時に位相調整器104が指令増分値を位相調整した信号から目標指令増分値を減算器103により減算し、その出力に乗算器102が調整ゲインを乗じて補償信号を出力する。

フィルタ101は、巡回型フィルタか非巡回型フィルタのいずれかの任意のローパスフィルタである。

位相調整器104、105はローパスフィルタとハイパスフィルタのいずれか、または位

相調整用パラメータで設定されて所定の時間だけ遅延させる遅延器である。

[0007] 図13は、図11の予測制御器と図12の補償信号演算器を用いたサーボ制御装置の構成を示すブロック図である。補償信号演算器100の目標指令増分値は予測制御器61に入力される。補償信号演算器100が出力する補償信号と、予測制御器61が出力する制御入力と、制御対象の出力は、モータ制御器3に入力され、モータ2の出力は予測制御器61にも入力される。そして、モータ制御器3がモータ2を駆動し、制御入力に応じてモータ2の動作が制御される。

[0008] 本構成によれば、未来の偏差予測値が最小となるように制御対象1の制御入力決定されるため、追従制度の良いサーボ制御装置が実現され、速度や加速度の変化が大きいために制御器だけでは追従できないときであっても、補償信号演算器がフィードフォワード補償信号によって制御対象の補償をするので、速度や加速度が大きく変動する指令を受けてもオーバーシュートや持続振動を生じることなく、高い追従精度で制御対象1を制御することができる。

特許文献1:特許第3175877号公報

特許文献2:国際公開 WO93/20489

特許文献3:特開2002-62906号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0009] ところが従来のサーボ制御装置は、目標指令と制御対象出力の偏差を小さくできるが、指令増分値をフィルタリングした信号を目標指令増分値として使用するため、指令増分値と目標指令増分値の間に遅れが生じ、指令と制御対象出力との間に偏差が生じるという問題があった。また、指令増分値をフィルタリングしないで目標指令増分値として使用すると、指令と目標指令間の遅れはないが、速度や加速度に大きな変動があれば追従誤差を生じるという問題があった。

そこで本発明は、速度や加速度が大きく変動しても、追従誤差を小さくし、さらに指令に対する目標指令の遅れを小さくすることによって指令と制御対象出力間の偏差を小さくすることができるサーボ制御装置を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0010] 上記目的を達成するために、本発明のサーボ制御装置は、指令に応じて制御対象を制御するサーボ制御装置であって、前記指令のサンプリング周期間の増分である目標指令増分値を入力として、加減速時の前記目標指令と前記制御対象の出力の偏差が小さくなるよう補償する補償信号を生成して前記制御対象に送る補償信号演算器と、前記目標指令増分値を入力して、該目標指令増分値の積算値である目標指令と前記制御対象の出力とを一致させるように制御入力を前記制御対象に送る制御器とを有している。

本発明によれば、目標指令増分値に従って、制御器が制御対象を制御すると共に、目標指令増分値を入力とする基準ローパスフィルタの逆伝達関数の特性をもつ逆伝達関数器の出力から目標指令増分値を減算し、該減算器の出力に調整ゲインを乗算した信号を、補償信号演算器が制御対象に対するフィードフォワードの補償信号により補償する。

[0011] また、前記補償信号演算器は、前記目標指令増分値を微分する微分器と、該微分器の出力に調整ゲインを乗算する乗算器の出力をフィードフォワードの補償信号として出力してもよい。

また、前記補償信号演算器は、前記乗算器の出力の位相調整を行う位相調整器を有してもよい。

また、前記補償信号演算器は、前記減算器の入力のいずれか、または両方の位相調整を行う位相調整器を有してもよい。

また、前記サーボ制御装置は前記制御器に入力する目標指令増分値の位相調整を行い、前記制御器に入力するような位相調整器を有してもよい。

また、前記制御器は、前記制御対象における、未来時刻の偏差予測値と制御入力と制御入力増分値とに関する評価関数を最小とするように前記制御入力を決定する予測制御器であってもよい。あるいは、前記制御器は、前記目標指令増分値を積算して得られる目標指令と、前記制御対象の出力とを一致させるように前記制御入力を調整する位置制御器であってもよい。

また、前記制御対象がモータおよびその速度制御器を含み、前記制御器は、前記速度制御器に前記制御入力として速度指令を与え、前記補償信号演算器は、前記

速度制御器に前記補償信号として、速度あるいはトルクを補償するフィードフォワード信号を与えることとしてもよい。

- [0012] あるいは、前記制御対象がモータおよびそのトルク制御器を含み、前記制御器は、前記トルク制御器に前記制御入力としてトルク指令を与え、前記補償信号演算器は、前記トルク制御器に前記補償信号として、トルクを補償するフィードフォワード信号を与えることとしてもよい。

また、前記モータが直進型モータであってもよい。

また、前記位相調整器がローパスフィルタであってもよく、ハイパスフィルタであってもよく、さらに、信号を位相調整用パラメータで指定された時間分だけ遅延させる遅延器であってもよい。

また、前記基準ローパスフィルタが巡回型フィルタであってもよく、非巡回型フィルタであってもよい。

また、前記位置制御器は、前記目標指令増分値を積算して得られる目標指令と、前記モータの位置との偏差の比例、積分、あるいは微分演算のいずれか、またはそれらの組み合わせによって制御入力を決定することとしてもよい。

発明の効果

- [0013] 第1の発明によれば、加減速度変化時の目標指令と制御対象の出力との偏差が、小さくなるように補償する補償信号を生成して、制御対象に送るので、速度や加速度が大きく変化するような場合でも高い追従性で制御対象を制御することができるという効果がある。

第2の発明によれば、加減速度変化時の目標指令と制御対象の出力との偏差が、小さくなるように補償する補償信号を生成する補償信号演算器が、目標指令増分値を入力し、前記目標指令増分値と、任意に決められたローパスフィルタの逆伝達関数特性をもつ逆伝達関数器の出力とを減算し、調整ゲインを乗算した信号を補償信号として制御対象に送るので、速度や加速度が大きく変化するような場合でも高い追従性で制御対象を制御することができるという効果がある。

第3の発明によれば、加減速度変化時の目標指令と制御対象の出力との偏差が、小さくなるように補償する補償信号を生成する補償信号演算器が、目標指令増分値

を微分した信号に調整ゲインを乗じた信号を補償信号として制御対象に送るので、速度や加速度が大きく変化する場合でも高い追従性で制御対象を制御することができるという効果がある。

第4の発明によれば、加減速度変化時の目標指令と制御対象の出力との偏差が、小さくなるように補償する補償信号を生成する補償信号演算器の出力に位相調整器を備え、位相調整を行って補償信号を制御対象に送るので、速度や加速度が大きく変化する場合でも高い追従性で制御対象を制御することができるという効果がある。

第5の発明によれば、加減速度変化時の目標指令と制御対象の出力との偏差が、小さくなるように補償する補償信号を生成する補償信号演算器が、目標指令増分値を入力し、前記目標指令増分値と、任意に決められたローパスフィルタの逆伝達関数特性をもつ逆伝達関数器の出力とのいずれかの信号を位相調整し、減算した信号を、調整ゲインを乗算した信号を補償信号として制御対象に送るので、速度や加速度が大きく変化する場合でも高い追従性で制御対象を制御することができるという効果がある。

第6の発明によれば、目標指令増分値を位相調整した信号が、加減速度変化時の目標指令と制御対象の出力との偏差が、小さくなるように補償する補償信号を生成する補償信号演算器の入力信号として入力されるので、速度や加速度が大きく変化する場合でも高い追従性で制御対象を制御することができるという効果がある。

第7の発明によれば、未来時刻の偏差予測値と制御入力と制御入力増分値とに関する評価関数を最小とするように制御入力を決定する予測制御器と、加減速度変化時の目標指令と制御対象の出力との偏差が、小さくなるように補償する補償信号を生成する補償信号器との出力を制御対象に入力し、制御対象を制御するので、速度や加速度が大きく変化する場合でも高い追従性で制御対象を制御することができるという効果がある。

第8の発明によれば、目標指令と、制御対象の出力を一致させるように制御入力を決定する位置制御器と、加減速度変化時の目標指令と制御対象の出力との偏差が、小さくなるように補償する補償信号を生成する補償信号器との出力を制御対象に

入力し、制御対象を制御するので、速度や加速度が大きく変化するような場合でも高い追従性で制御対象を制御することができるという効果がある。

第9の発明によれば、制御対象がモータ及びその速度を制御する速度制御器を含むような制御対象であっても、加減速度変化時の目標指令と制御対象の出力との偏差が、小さくなるように補償する補償信号を生成して、制御対象に送るので、速度や加速度が大きく変化するような場合でも高い追従性で制御対象を制御することができるという効果がある。

第10の発明によれば、制御対象がモータ及びそのトルクを制御するトルク制御器を含むような制御対象であっても、加減速度変化時の目標指令と制御対象の出力との偏差が、小さくなるように補償する補償信号を生成して、制御対象に送るので、速度や加速度が大きく変化するような場合でも高い追従性で制御対象を制御することができるという効果がある。

第11の発明によれば、モータが直進型モータであっても、加減速度変化時の目標指令と制御対象の出力との偏差が、小さくなるように補償する補償信号を生成して、制御対象に送るので、速度や加速度が大きく変化するような場合でも高い追従性で制御対象を制御することができるという効果がある。

第12の発明によれば、補償信号の位相を調整する位相調整器がローパスフィルタと、ハイパスフィルタと、信号を位相調整用パラメータで指定された時間分だけ遅延させる遅延器のいずれであっても、加減速度変化時の目標指令と制御対象の出力との偏差が、小さくなるように補償する補償信号を生成して、制御対象に送るので、速度や加速度が大きく変化するような場合でも高い追従性で制御対象を制御することができるという効果がある。

第13の発明によれば、加減速度変化時の目標指令と制御対象の出力との偏差が、小さくなるように補償する補償信号を生成する補償信号演算器が、目標指令増分値を入力し、前記目標指令増分値と、巡回型フィルタまたは非巡回型フィルタであるように決められたローパスフィルタの逆伝達関数特性をもつ逆伝達関数器の出力とを減算し、調整ゲインを乗算した信号を補償信号として制御対象に送るので、速度や加速度が大きく変化するような場合でも高い追従性で制御対象を制御することができ

るという効果がある。

第14の発明によれば、目標指令とモータの位置との偏差の比例、積分、あるいは微分演算のいずれか、またはそれらの組み合わせによって、制御入力を決定するPID制御器であっても、加減速度変化時の目標指令と制御対象の出力との偏差が、小さくなるように補償する補償信号を生成する補償信号演算器が、目標指令増分値を入力し、前記目標指令増分値と、任意に決められたローパスフィルタの逆伝達関数特性をもつ逆伝達関数器の出力とを減算し、調整ゲインを乗算した信号を補償信号として制御対象に送るので、速度や加速度が大きく変化する場合でも高い追従性で制御対象を制御することができるという効果がある。

図面の簡単な説明

- [0014] [図1]本発明のサーボ制御装置の構成を示すブロック図
[図2]補償信号演算器の構成を示すブロック図
[図3]第2の補償信号演算器の構成を示すブロック図
[図4]第3の補償信号演算器の構成を示すブロック図
[図5]第4の補償信号演算器の構成を示すブロック図
[図6]第5の補償信号演算器の構成を示すブロック図
[図7]第2のサーボ制御装置の構成を示すブロック図
[図8]第3のサーボ制御装置の構成を示すブロック図
[図9]第4のサーボ制御装置の構成を示すブロック図
[図10]従来のサーボ制御装置の構成を示すブロック図
[図11]従来のサーボ制御装置に適用された予測制御器の構成を示すブロック図
[図12]補償信号演算器の構成を示すブロック図
[図13]予測制御器と補償制御器とを適用したサーボ制御装置の構成を示すブロック図

符号の説明

- [0015] 1 制御対象、 2 モータ、 3 モータ制御器、
10、10a、10b、10c、10d 補償信号演算器、
11 逆伝達関数器、 12、102 乗算器、 13、103 減算器、

14～16、40、104、105 位相調整器、
 17 微分器、 20、61 予測制御器、 30 位置制御器、
 62～65 メモリ、 66 演算器、 67 減算器、
 68 積算器、 69 差分器、 100 従来の補償信号演算器、
 101 フィルタ、 S1 信号

発明を実施するための最良の形態

[0016] 本発明の実施例について図面を参照して詳細に説明する。

実施例 1

[0017] 図1は、本発明のサーボ制御装置の構成を示すブロック図である。この図においてサーボ制御装置は補償信号演算器10と予測制御器20を備えており、制御対象1を制御する。

補償信号演算器10は、図示しない上位指令器より与えられた目標指令値増分値、すなわち目標指令のサンプリング周期間の増分値を基に、補償信号を生成する。

予測制御器20は、目標指令増分値と制御対象1の出力とを入力して所定の演算を行い、制御入力を生成して制御対象1に与える。このとき、予測制御器20は、未来時刻の偏差予測値と、偏差と、制御入力と、制御入力増分値に関する評価関数を最小にするように制御入力を決定する。

予測制御器20は、特許文献1～3などに記載された既存のものであってよく、ここでは、例えば図11に示したものをを用いる場合について説明する。

図11の例では制御対象1の伝達関数モデルが、 $G_p(z) = (b_1 z^{-1} + \dots + b_{Nb} z^{-Nb}) / \{(1 - z^{-1})(1 - a_1 z^{-1} - \dots - a_{Na} z^{-Na})\}$ の離散時間系で与えられているとすると、その出力増分値モデルは式(2)となる。

[0018] [数2]

$$\Delta y(i) = \sum_{n=1}^{Na} a_n \Delta y(i-n) + \sum_{n=1}^{Nb} b_n u(i-n) \quad (2)$$

[0019] なお、ここで、 Δ は、サンプリング周期間の増分値であることを示す。時刻*i*においては、時刻*i-K*までの出力増分値の実測値 $\Delta y(i-n)$ ($n \geq K$) が得られているため、それ以降の出力増分値を、実測値を用いて、式(3a)、(3b)で予測すると、出力増分値

予測値 $\Delta y^*(i+m)$ は式(4)となる。

[0020] [数3]

$$\Delta y^*(i-K+1) = \sum_{n=1}^{Na} a_n \Delta y(i-K+1-n) + \sum_{n=1}^{Nb} b_n u(i-K+1-n) \quad m = -K+1 \quad (3a)$$

$$\Delta y^*(i+m) = \sum_{n=1}^{m+K-1} a_n \Delta y^*(i+m-n) + \sum_{n=m+K}^{Na} a_n \Delta y(i+m-n) + \sum_{n=1}^{Nb} b_n u(i+m-n) \quad m > -K+1 \quad (3b)$$

$$\Delta y^*(i+m) = \sum_{n=K}^{Na+K-1} A_{mn} \Delta y(i-n) + \sum_{n=0}^{Nb+K-1} B_{mn} u(i-n) \quad m \geq -K+1 \quad (4)$$

[0021] ここで係数 A_{mn} 、 B_{mn} は、未来の制御入力を $u(j) = 0$ ($j > i$) とすると、式(5a)、(5b)、(6a)、(6b) で与えられる。

[0022] [数4]

$$A_{(-K+1)n} = a_{(n-K+1)} \quad m = -K+1, \quad K \leq n \leq Na+K-1 \quad (5a)$$

$$A_{mn} = \sum_{j=1}^{m+K-1} a_j A_{(m-j)n} + a_{(n+m)} \quad m > -K+1, \quad K \leq n \leq Na+K-1 \quad (5b)$$

$$B_{(-K+1)n} = b_{(n-K+1)} \quad m = -K+1, \quad 0 \leq n \leq Nb+K-1 \quad (6a)$$

$$B_{mn} = \sum_{j=1}^{m+K-1} a_j B_{(m-j)n} + b_{(n+m)} \quad m > -K+1, \quad 0 \leq n \leq Nb+K-1 \quad (6b)$$

[0023] ただし、 $a_n = 0$ ($n > Na$)、 $b_n = 0$ ($n < 1$ 及び $n > Nb$) とする。

また、 $u(j) = u(i)$ ($j > i$) とすると、式(6b)の B_{m0} は式(6b')となる。

[0024] [数5]

$$\left. \begin{aligned} B_{m0} &= 0 & -K+1 < m \leq 0 \\ B_{m0} &= \sum_{j=1}^{m+K-1} a_j B_{(m-j)0} + \sum_{j=1}^m b_j & m \geq 1 \end{aligned} \right\} \quad (6b')$$

[0025] そこで、未来偏差 $e^*(i+m)$ を式(7)で与え、式(8)の評価関数が最小となるように制御入力 $u(i)$ を決定すると、 $\partial J / \partial u(i) = 0$ より、式(1)が得られる。ただし、各定数、 v_m 、 p_n 、 E 、 g_n は式(9)で与えられる。

[0026] [数6]

$$e^*(i+m) = \sum_{s=-K+1}^m \{\Delta r(i+s) - \Delta y^*(i+s)\} + e(i-K) \quad 1 \leq m \leq M \quad (7)$$

$$J = \sum_{m=1}^M w_m \{e^*(i+m) + \alpha e(i-K)\}^2 + c \{u(i)\}^2 + c_d \{\Delta u(i)\}^2 \quad (8)$$

$$\left. \begin{aligned} \beta_s &= \sum_{j=1}^s B_{j0}, & W &= \sum_{s=1}^M w_s \beta_s^2 + c + c_d, & q_s &= w_s \beta_s / W \\ v_m &= \sum_{s=m}^M q_s, & m &= -K+1, -K+2, \dots, M \\ E &= (1+\alpha)v_1 \\ p_n &= \sum_{m=-K+1}^M v_m A_{m(n+K)} & n &= 0, 1, \dots, N_a-1 \\ g_1 &= \sum_{m=-K+1}^M v_m B_{m1} - c_d / W & n &= 1 \\ g_n &= \sum_{m=-K+1}^M v_m B_{mn} & n &= 2, \dots, N_b+K-1 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

[0027] ここで、 $K=0$ とすると、式(8)の評価関数は式(10)のようになり、この評価関数を最小にする制御入力 $u(i)$ は式(11)で得られる。

[0028] [数7]

$$J = \sum_{m=1}^M w_m \{e^*(i+m) + \alpha e(i)\}^2 + c \{u(i)\}^2 + c_d \{\Delta u(i)\}^2 \quad (10)$$

$$u(i) = \sum_{m=1}^M v_m \Delta r(i+m) - \sum_{n=0}^{N_a-1} p_n \Delta y(i-n) + E e(i) - \sum_{n=1}^{N_b-1} g_n u(i-n) \quad (11)$$

[0029] 予測制御器20が出力する制御入力と、補償信号演算器10の補償信号と、制御対象の出力はモータ制御器3に入力され、モータ2の出力は予測制御器20にも入力される。そして、モータ制御器3がモータ2を駆動し、制御入力に応じてモータ2の動作が制御される。

[0030] 図2は補償信号演算器10の構成を示すブロック図であり、補償信号演算器10は逆伝達関数器11と乗算器12、減算器13から構成されている。

逆伝達関数器11は目標指令増分値を入力すると予め設定した基準ローパスフィルタの逆伝達関数特性に従って演算して信号S1を出力する。減算器13が信号S1から目標指令増分値を減算すると、乗算器12がゲインKを乗じて補償信号を生成して出力する。

[0031] 以上説明したように、本発明によれば、目標指令増分値に従って予測制御器20が制御対象1を制御すると共に、逆伝達関数器の出力と目標指令増分値の差に調整ゲインを乗じて補償信号演算器10の出力としている。これを制御対象1のフィードフォワード補償信号とするので、速度や加速度が大きく変動する指令に対してもオーバーシュートや持続振動が生じることなく、高い追従精度で制御対象1を制御することができる。さらに、予測制御器20に入力する指令には遅れが発生しない。

[0032] 図2には補償信号演算器の構成の一例を示したが、その他の構成も可能であり、以下、その変形例について説明する。

図3は、第2の補償信号演算器の構成を示すブロック図である。図3の補償演算器10aが図2の補償信号演算器10と異なるのは、乗算器12の出力の位相調整をしてから補償信号としている点である。

図4は、第3の補償信号演算器の構成を示すブロック図である。図4の補償演算器10bが図2の補償信号演算器10と異なるのは、減算器13の入力の両方を位相調整器15、16で位相調整した点である。2つの位相調整器15、16のいずれか一方だけを設けるという構成でもよく、より効果的な構成を選択すればよい。

図5は第4の補償信号演算器の構成を示すブロック図であり、乗算器12の前段に微分器17を設けただけの構成をしている。

補償信号演算器10cに入力された目標指令増分値は微分器17で微分して乗算器12でゲインKが乗じられ、補償信号としている。

[0033] 図6は第5の補償信号演算器の構成を示すブロック図であり、図5に示した補償信号演算器10cの乗算器12の後に位相調整器14を追加したものである。この構成により乗算器12の出力を位相調整して補償信号としている。

制御対象1のモータ制御器3が速度制御器であれば、モータ制御器3の制御入力 は速度指令であり、補償信号はモータ制御器3内の速度あるいはトルクを補償するフィードフォワード信号である。

制御対象1のモータ制御器3がトルク制御器であればモータ制御器3の制御入力 はトルク指令であり、補償信号はモータ制御器3内のトルクを補償するフィードフォワード信号である。

補償信号演算器10a、10b、10dに含まれる各位相調整器14〜16は、ローパスフィルタとハイパスフィルタのいずれか、あるいは位相調整用パラメータに設定した時間だけ信号を遅延させる遅延器でありこの中から効果的なものを自由に選択することができる。

逆伝達関数器11を構成する基準ローパスフィルタは、巡回型フィルタと非巡回型フィルタのうち効果の高いものを選択すればよい。

各位相調整器14〜16の位相調整値と乗算器12の調整ゲインKは、目標指令と制御対象出力との偏差ができる限り小さくなるように調整すればよい。例えば、調整ゲインKを、一定加速度で加速している時に偏差が小さくなるように調整し、各位相調整器14〜16の位相調整値を、加速度が変化している時に偏差が小さくなるように調整すればよい。

実施例 2

- [0034] 図7は、第2のサーボ制御装置の構成を示したブロック図であり、図1と異なるのは予測制御器20の前段に位相調整器40を設けた点である。この位相調整器40により目標指令増分値を位相調整し、予測制御器20に入力している。位相調整器40はローパスフィルタとハイパスフィルタのいずれか、あるいは位相調整用パラメータに設定した時間だけ信号を遅延させる遅延器であり、この中から効果的なものを選択することができる。

実施例 3

- [0035] 図8は、第3のサーボ制御装置の構成を示すブロック図であり、図1と異なるのは予測制御器20を位置制御器30に変えた点である。

位置制御器30は、目標指令増分値を積算して得られる目標指令と、制御対象の出力とが一致するように制御入力を調整する。例えば、位置制御器30は、目標指令とモータ位置の偏差の比例(Proportional)、積分(Integral)、あるいは微分(Derivative)のいずれか、またはそれらの組み合わせの演算によって制御入力を決定するPID制御器とすればよい。

位置制御器30が出力した制御対象1の制御入力、制御対象1のモータ制御器3に入力される。

実施例 4

[0036] 図9は、第4のサーボ制御装置の構成を示すブロック図であり、図8と異なるのは位置制御器30の前段に位相調整器40を加えた点である。この位相調整器40は目標指令増分値を位相調整してその出力が位置制御器30に入力される。位相調整器40はローパスフィルタとハイパスフィルタのいずれか、あるいは位相調整用パラメータに設定した時間だけ信号を遅延させる遅延器であり、この中から効果的なものを選択することができる。

ここで、位置制御器30は、モータ制御器3の構成に合わせて自由に構成できる。例えば、モータ制御器3がモータ2の速度制御を行う場合、位置制御器30は、速度指令を制御入力としてモータ制御器3に送るPID制御器として構成すればよい。

また、モータ制御器3がトルク制御のみを行う場合、位置制御器30は、単純なPID制御器や内部に速度制御器を含むものとして構成すればよい。

また、第1ないし第4の実施例において、モータ2が推力指令により駆動されるリニアモータなどの直進型アクチュエータである場合も、上述したものと同様の構成のサーボ制御装置を適用可能である。

産業上の利用可能性

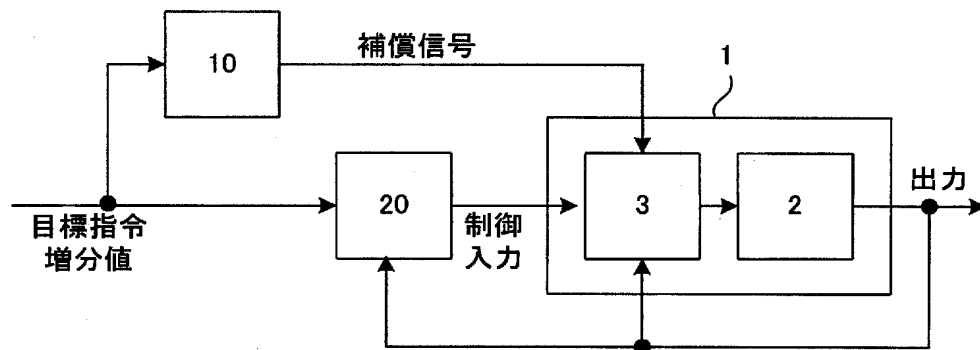
[0037] フィードフォワード補償信号を補償信号として補償することによって、追従精度を改善することができるので、同期制御を行うような機械にも適用できる。

請求の範囲

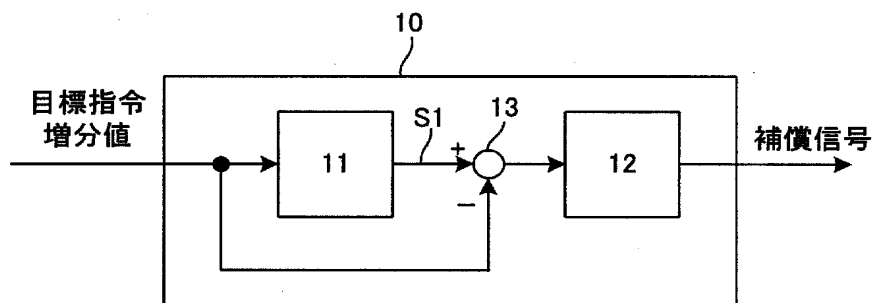
- [1] 指令に応じて制御対象を制御するサーボ制御装置であって、
目標指令のサンプリング周期間の増分である目標指令増分値を入力し、その目標指令増分値の積算値である目標指令と、前記制御対象の出力とを一致させるように制御入力を前記制御対象に送る制御器と、
前記目標指令増分値を入力として加減速時の前記目標指令と前記制御対象の出力の偏差が小さくなるよう補償する補償信号を生成して前記制御対象に送る補償信号演算器と、
を有することを特徴とするサーボ制御装置。
- [2] 前記補償信号演算器は、任意に決められた基準ローパスフィルタの逆伝達関数特性を備えて前記目標指令増分値を入力する逆伝達関数器と、その逆伝達関数器の出力から前記目標指令増分値を減算する減算器と、その減算器の出力に調整ゲインを乗じる乗算器とを有することを特徴とする請求項1に記載のサーボ制御装置。
- [3] 前記補償信号演算器は、前記目標指令増分値を微分する微分器と、その微分器の出力に調整ゲインを乗じる乗算器とを有することを特徴とする請求項1に記載のサーボ制御装置。
- [4] 前記補償信号演算器は、前記乗算器の出力を位相調整する位相調整器を備えたことを特徴とする請求項3に記載のサーボ制御装置。
- [5] 前記補償信号演算器は、前記減算器の入力のうち少なくとも1つには位相調整をする位相調整器を備えたことを特徴とする請求項2に記載のサーボ制御装置。
- [6] 前記目標指令増分値を位相調整した信号を前記制御器に送る位相調整器を有することを特徴とする請求項1に記載のサーボ制御装置。
- [7] 前記制御器は、前記制御対象における、未来時刻の偏差予測値と偏差と制御入力と制御入力増分値とに関する評価関数を最小とするように前記制御入力を決定する予測制御器であることを特徴とする請求項1に記載のサーボ制御装置。
- [8] 前記制御器は、前記目標指令増分値を積算して得られる目標指令と、前記制御対象の出力とを一致させるように前記制御入力を調整する位置制御器であることを特徴とする請求項1に記載のサーボ制御装置。

- [9] 前記制御対象がモータおよびその速度を制御する速度制御器を含み、
前記制御器は、前記速度制御器に前記制御入力として速度指令を与え、
前記補償信号演算器は、前記速度制御器に前記補償信号として、速度あるいはトルクを補償するフィードフォワード信号を与えることを特徴とする請求項1に記載のサーボ制御装置。
- [10] 前記制御対象がモータおよびそのトルクを制御するトルク制御器を含み、
前記制御器は、前記トルク制御器に前記制御入力としてトルク指令を与え、
前記補償信号演算器は、前記トルク制御器に前記補償信号として、トルクを補償するフィードフォワード信号を与えることを特徴とする請求項1に記載のサーボ制御装置。
- [11] 前記モータが直進型モータであることを特徴とする請求項9または10の何れかに記載のサーボ制御装置。
- [12] 前記位相調整器はローパスフィルタと、ハイパスフィルタと、信号を位相調整用パラメータで指定された時間分だけ遅延させる遅延器のいずれか1つであることを特徴とする請求項4ないし6の何れかに記載のサーボ制御装置。
- [13] 前記基準ローパスフィルタが巡回型フィルタと非巡回型フィルタの「いずれかであることを特徴とする請求項2に記載のサーボ制御装置。
- [14] 前記位置制御器は、前記目標指令増分値を積算して得られる目標指令と、前記モータの位置との偏差の比例、積分、あるいは微分演算のいずれか、またはそれらの組み合わせによって、制御入力を決定することを特徴とする請求項8に記載のサーボ制御装置。
- .

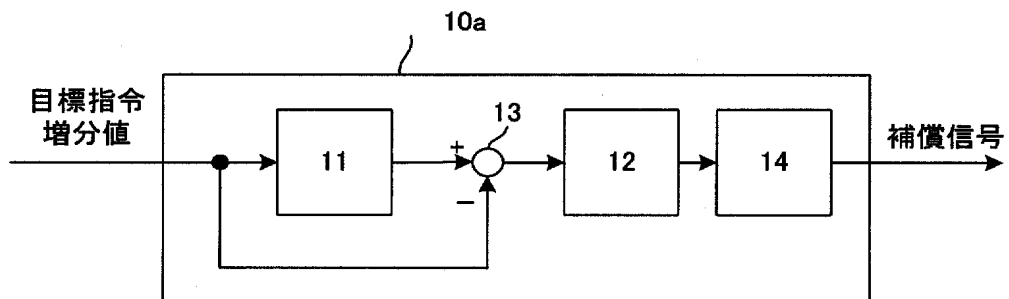
[図1]



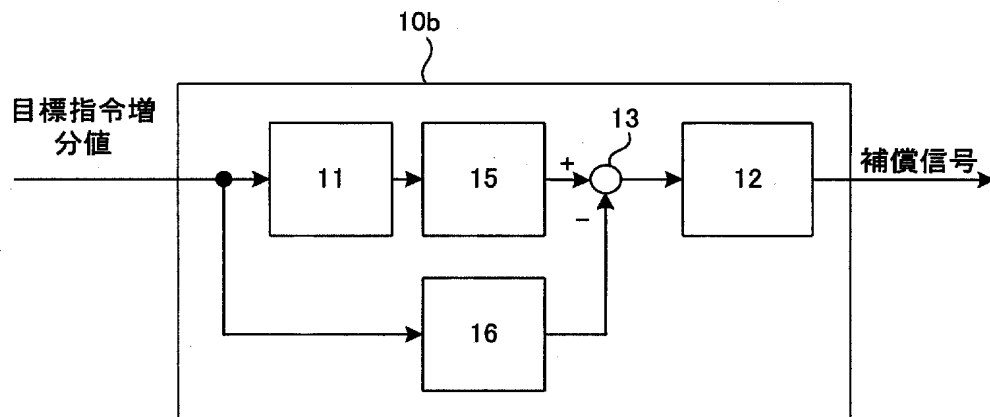
[図2]



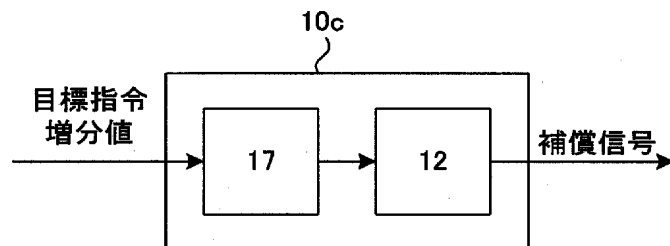
[図3]



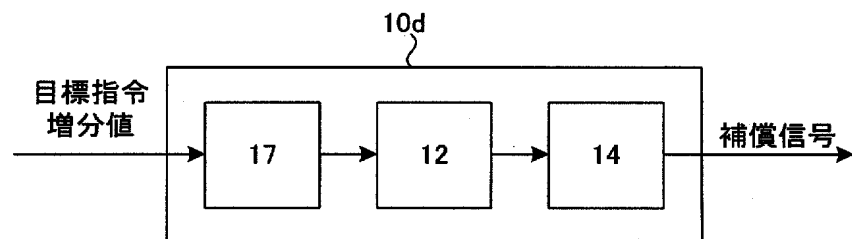
[図4]



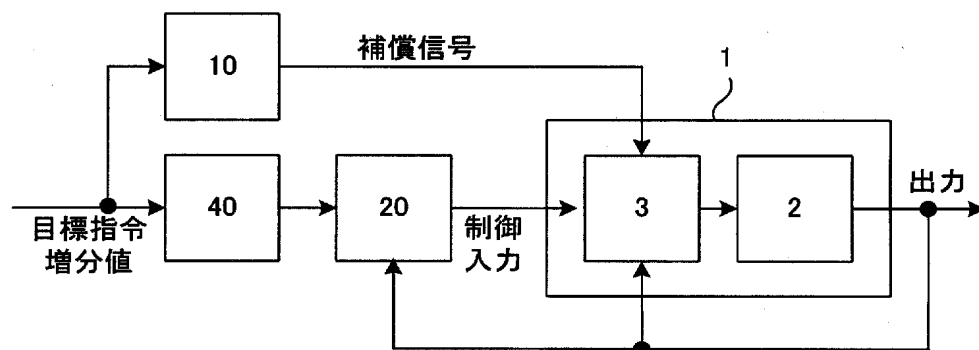
[図5]



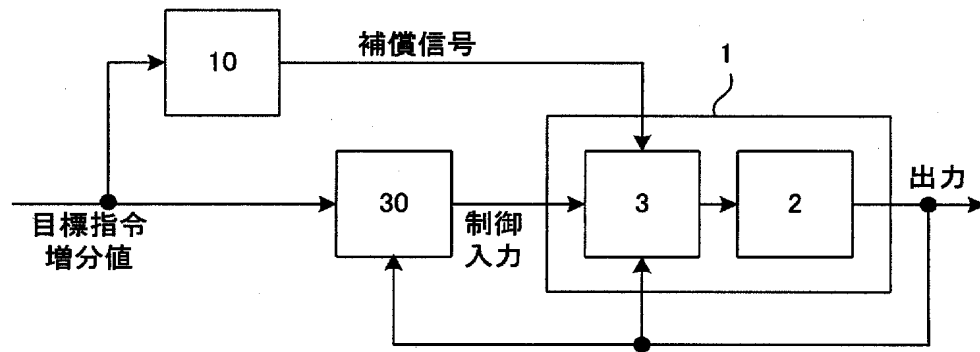
[図6]



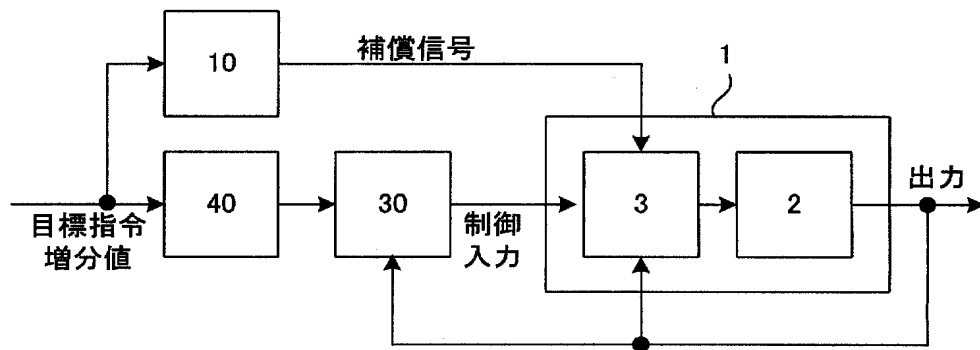
[図7]



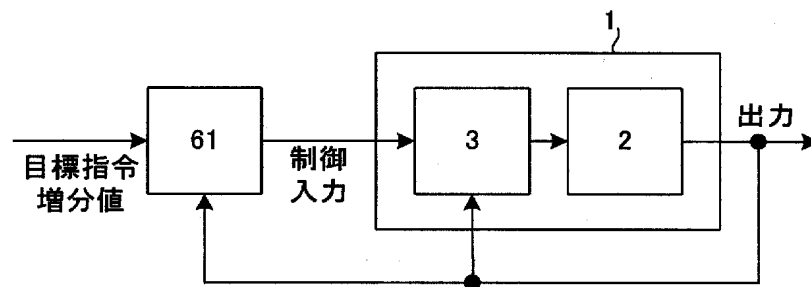
[図8]



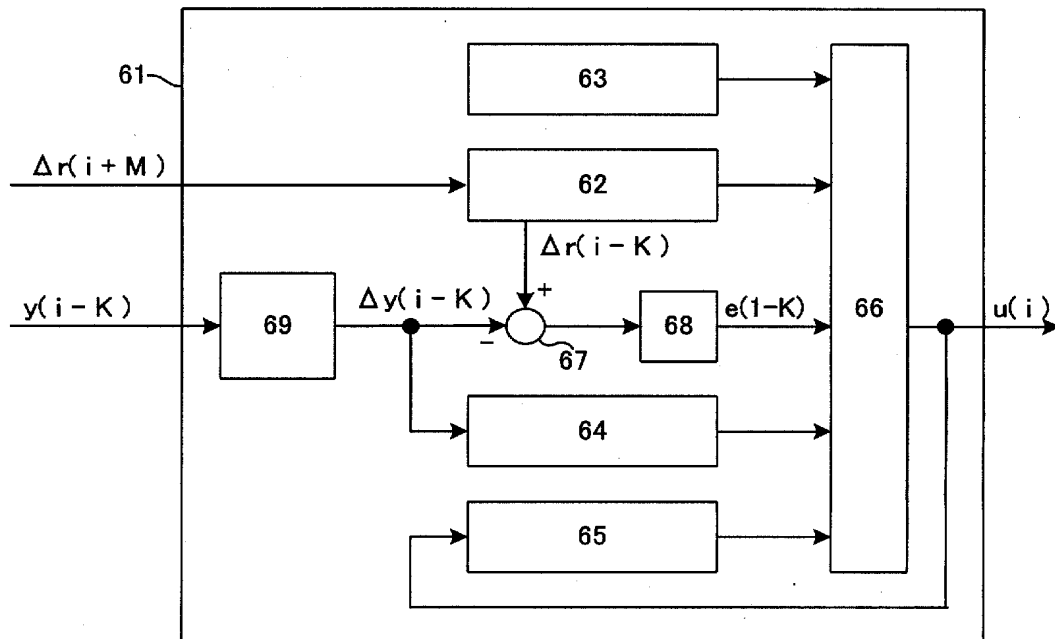
[図9]



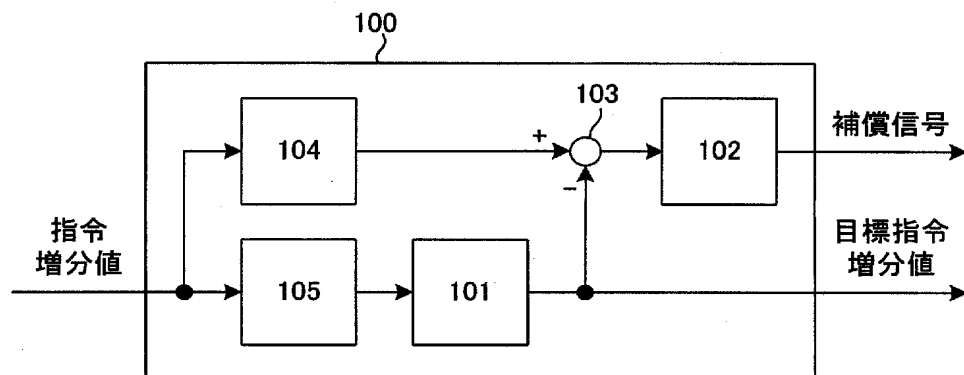
[図10]



[図11]



[図12]



[図13]

